

超高效液相色谱-串联质谱法测定牛奶中 4 种 β -内酰胺类抗生素及其主要代谢产物

路 杨, 王丽英, 秦振顺, 任贝贝, 刘梦颖, 常凤启*

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

摘要: 目的 建立超高效液相色谱-串联质谱法检测牛奶中青霉素 G、青霉素 V、氨苄西林、阿莫西林及其代谢产物脱羧噻唑酸含量的分析方法。**方法** 样品经 0.2% 氨水乙腈溶液超声离心提取, 通过 Oasis PRiME HLB 固相萃取柱进行净化, 采用超高效液相色谱-串联质谱法进行测定。**结果** 青霉素 G、青霉素 V、氨苄西林、阿莫西林及其代谢产物脱羧噻唑酸在所考察的线性范围内线性良好, 相关系数不低于 0.999; 方法回收率为 70.9%~101.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 4.0%~7.5%。市售的 35 份样品中, 均未检出青霉素 G、青霉素 V、阿莫西林、氨苄西林及其代谢产物。**结论** 该方法操作简单、重现性好, 可用于牛奶中青霉素 G、青霉素 V、阿莫西林、氨苄西林及其代谢产物脱羧噻唑酸的检测。

关键词: β -内酰胺类抗生素; 牛奶; 超高效液相色谱-串联质谱法

Determination of 4 kinds of β -lactam antibiotics and their main metabolites in milk by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry

LU Yang, WANG Li-Ying, QIN Zhen-Shun, REN Bei-Bei, LIU Meng-Ying, CHANG Feng-Qi*

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

ABSTRACT: Objective To establish a analytical method for the determination of penicillin G, penicillin V, ampicillin, amoxicillin and their metabolites decarboxythiazolinic acid in milk by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** After the target compound were extracted from sample by 0.2% ammonia acetonitrile solution and purified by solid-phase extraction with Oasis PRiME HLB, and the samples were analyzed by UPLC-MS/MS. **Results** The linearity of penicillin G, penicillin V, ampicillin, amoxicillin and their metabolites decarboxythiazolinic acid was good within the investigated linear range, and the correlation coefficients were not less than 0.999; the recoveries of the method were 70.9%–101.6% and the relative standard deviations were 4.0%–7.5%. Penicillin G, penicillin V, amoxicillin, ampicillin, and their metabolites were not detected in 35 commercially available samples. **Conclusion** This method is simple and reproducible, and can be used for the detection of penicillin G, penicillin V, amoxicillin, ampicillin and their metabolites decarboxythiazolic acid in milk.

基金项目: 河北省卫健委项目(20090036)

Fund: Supported by the Health Commission of Hebei Provincial (20090036)

*通信作者: 常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: hbweisheng2@163.com

*Corresponding author: CHANG Feng-Qi, Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, 97 Huai'an East Road, Shijiazhuang City 050021, China. E-mail: hbweisheng2@163.com

KEY WORDS: β -lactam antibiotics; milk; ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry

0 引言

β -内酰胺酶,是一类由细菌产生的能够降解 β -内酰胺类抗生素从而降低其抗菌作用的酶。在奶牛养殖业中, β -内酰胺类抗生素常被用于医治奶牛的乳腺炎,由于其使用广泛,可能导致在牛奶中存在残留。青霉素类 β -内酰胺类抗生素在酸、碱、酶等条件下易发生开环反应,产生主要代谢物为青霉二酸和去羧青霉噻唑酸^[1-2],有些代谢产物能够引起人体的过敏反应,对人类健康具有潜在危险性^[3]。

食品中 β -内酰胺类抗生素的检测方法已有大量报道,并已制定相关检测标准^[4-6],主要检测方法有微生物检测法^[7]、酶联免疫法^[8-9]、高效液相色谱法^[10]、液相色谱-质谱法^[11-13]等。微生物检测法和酶联免疫法能够解决定性问题,但在定量方面有困难;液相色谱-质谱法实现了高效的色谱分离和高灵敏度检测,是抗生素类药物残留的主要检测方法。随着研究方法的深入, β -内酰胺类抗生素酶解代谢产物的研究也逐渐增多^[14-15]。周杰等^[16]建立柑桔中青霉素G及其代谢物残留的检测方法;陈聪等^[17]利用超高效液相色谱-串联质谱法检测了全血中的青霉素G和青霉噻唑酸、脱羧青霉噻唑酸2种代谢物;李玮等^[18]建立了高效液相色谱-电喷雾串联质谱法测定牛奶和奶粉中青霉素G、青霉素V、阿莫西林、氨苄西林及其各自酶解产物含量,但其前处理方法较复杂,前处理耗时较长。

本研究采用0.2%氨水乙腈提取目标化合物,Oasis PRiME HLB固相萃取小柱进行净化,建立超高效液相色谱串联质谱法检测牛奶中抗生素青霉素G、青霉素V、阿莫西林、氨苄西林及其代谢产物脱羧噻唑酸残留物的分析方法,以期对牛奶产品的安全保障提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验样品

从石家庄市零售超市中随机采集具有代表性的不同厂家生产的不同种类、单独包装的牛奶样品35份。每个样品平行采集2份,每份样品最少0.5 L。

1.1.2 实验仪器

Waters TQS 高效液相色谱-串联三重四极杆质谱、Oasis PRiME HLB固相萃取柱(60 mg/3 mL)(美国Waters公司);JJ 600 电子天平(常熟市双杰测试仪器厂);KQ-600E 超声仪(昆山市超声仪器有限公司);3-30K 冷冻离心机(美国Sigma公司);N-EVAP 112 氮吹仪(美国Organomation公司)。

1.1.3 试剂及标准溶液

乙腈、甲酸(色谱纯,德国默克公司);青霉素G、青霉素V、阿莫西林、氨苄西林标准品(德国Dr.Ehrenstorfer公司);青霉素G脱羧噻唑酸、青霉素V脱羧噻唑酸、阿莫西林脱羧噻唑酸、氨苄西林脱羧噻唑酸采用青霉素G、青霉素V、阿莫西林、氨苄西林标准品由实验室内部制备;实验所用水均为一级水。

1.2 实验方法

1.2.1 液相色谱条件

色谱柱为:Waters ACQUITY UPLC BEH C₁₈液相色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μ m);流速:0.3 mL/min;柱温:30 $^{\circ}$ C;进样量:5 μ L;流动相:A:0.1%甲酸;B:乙腈;梯度洗脱条件 0~1.0 min: 10%B; 1.0~5.0 min: 10%B~90%B; 6.0~6.5 min: 90%B~100%B; 6.5~8.0 min: 10%B。

1.2.2 质谱条件

离子源:电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI+);毛细管电压:3.0 kV;离子源温度:150 $^{\circ}$ C;锥孔反吹气流速:150 L/h;脱溶剂气温度:400 $^{\circ}$ C;脱溶剂气流速:800 L/h;碰撞气为氩气;碰撞气流速:0.16 mL/min;检测方式:多反应离子监测(multiple reaction monitoring, MRM)^[19]。

1.2.3 样品前处理

称取2 g(精确至0.01 g)牛奶样品于50 mL离心管中,加入8 mL 0.2%氨水乙腈,涡旋1 min,超声30 min,10000 r/min离心5 min。取全部离心后的上清液过Oasis PRiME HLB固相萃取柱。

净化:取Oasis PRiME HLB固相萃取小柱,3 mL乙腈-水(80:20, V:V)清洗。将上清液全部过固相萃取(solid phase extraction, SPE)小柱,保持1秒1滴的流速,同时收集全部流出液,用2 mL乙腈-水(80:20, V:V)清洗SPE小柱,同时收集全部流出液。将全部流出液在45 $^{\circ}$ C氮气吹干,用乙腈-水(10:90, V:V)定容至1 mL,涡旋混匀,用0.22 μ m微孔滤膜过滤至进样瓶中,待测。

2 结果与分析

2.1 样品前处理条件的选择

牛奶基质复杂,本研究使用不同pH的乙腈溶液提取目标化合物,同时沉淀蛋白。实验中采取0.1%甲酸乙腈、0.2%甲酸乙腈、0.5%甲酸乙腈、乙腈、0.1%氨水乙腈、0.2%氨水乙腈、0.5%氨水乙腈和1.0%氨水乙腈8种不同pH值的乙腈溶液分别提取目标化合物。各目标化合物的具体回收率见图1。各目标化合物结构式见图2。青霉素G在酸性条件下基本没有回收,青霉素V、氨苄西林和阿莫西林回收率均较低,4种青霉素类抗生素脱羧噻唑酸随着甲酸

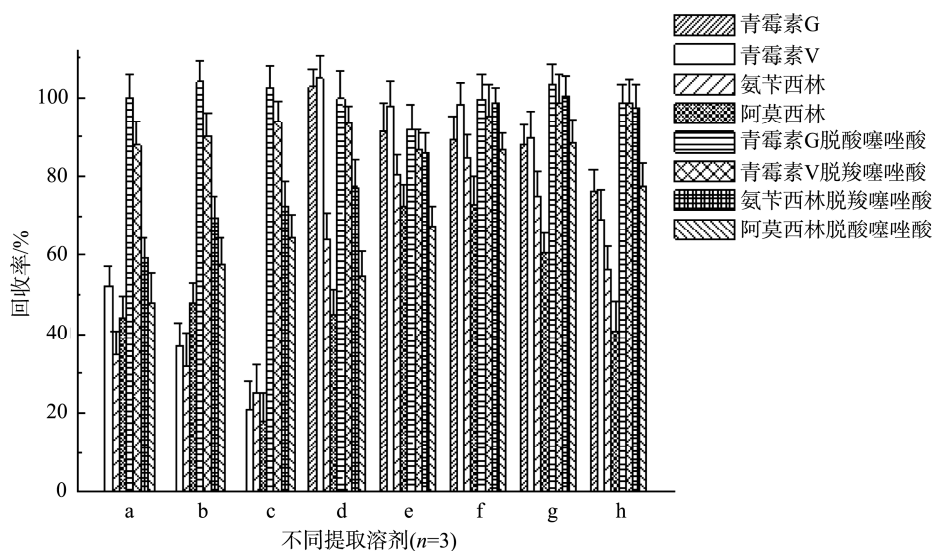
浓度的增大回收率逐渐提高;氨苄西林和阿莫西林及其脱羧噻唑酸在纯乙腈提取液中回收率较低;8种化合物在碱性条件下的回收率均较好。综合比较,本研究最终选择0.2%氨水乙腈作为提取溶液。

牛奶中存在大量磷脂,极大地干扰目标化合物的分析,同时降低色谱柱寿命。本研究对比了 Oasis PRiME HLB和Oasis MAX 2种固相萃取小柱净化效果,结果表明,2种固相萃取柱对于样品的净化结果区别不大。但 Oasis PRiME HLB固相萃取柱比Oasis MAX固相萃取柱活化和洗脱过程简单,操作步骤少,净化速度较快,且能有效去

除磷脂等非极性干扰物。因此,本研究最终选择 Oasis PRiME HLB固相萃取柱进行净化。

2.2 质谱条件的优化

将4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物分别配成500 ng/mL的标准溶液,采用直接进样法,在优化质谱各参数的基础上,分别确定各抗生素及其代谢产物的母离子和子离子的质量数^[19]。8个化合物在ESI+模式下响应较好。4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物的母离子和特征子离子的质荷比、锥孔电压、碰撞能量见表1。各目标化合物的标准溶液MRM色谱图见图3,可见各物质区分度良好。



注: a. 0.1%甲酸乙腈; b. 0.2%甲酸乙腈; c. 0.5%甲酸乙腈; d. 乙腈; e. 0.1%氨水乙腈; f. 0.2%氨水乙腈; g. 0.5%氨水乙腈; h. 1.0%氨水乙腈。

图1 不同提取溶液下目标化合物的回收率

Fig.1 Recovery rates of target compounds in different extraction solutions

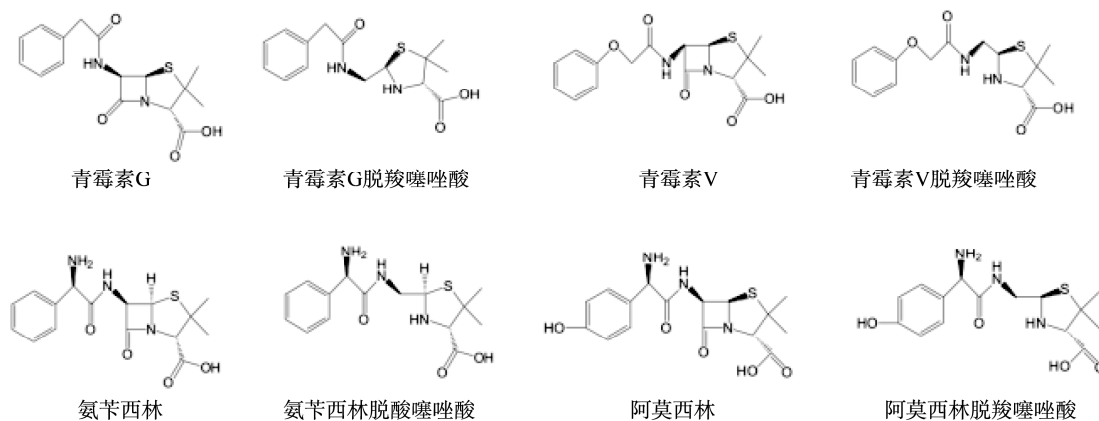


图2 目标化合物结构式

Fig.2 Structure of target compound

表 1 目标物的母离子和子离子质荷比、碰撞能量及锥孔电压
Table 1 Mass charge ratio of parent ion and daughter ion, collision energy, and taper hole voltage of the target

化合物	母离子(m/z)	特征离子(m/z)	锥孔电压/V	碰撞能量/eV
青霉素 G	335.1	160.0*	25	10
		176.0	25	15
青霉素 V	351.1	114.0	23	35
		160.1*	23	10
氨苄西林	350.2	106.0*	30	18
		160.0	30	12
阿莫西林	366.2	114.0	27	20
		349.0*	27	8
青霉素 G 脱羧噻唑酸	309.2	128.2	25	15
		174.2*	25	15
青霉素 V 脱羧噻唑酸	325.1	128.1*	25	22
		174.1	25	16
氨苄西林脱羧噻唑酸	324.2	106.2	30	18
		307.1*	30	12
阿莫西林脱羧噻唑酸	340.1	189.1*	25	20
		323.0	25	14

注: *定量离子。

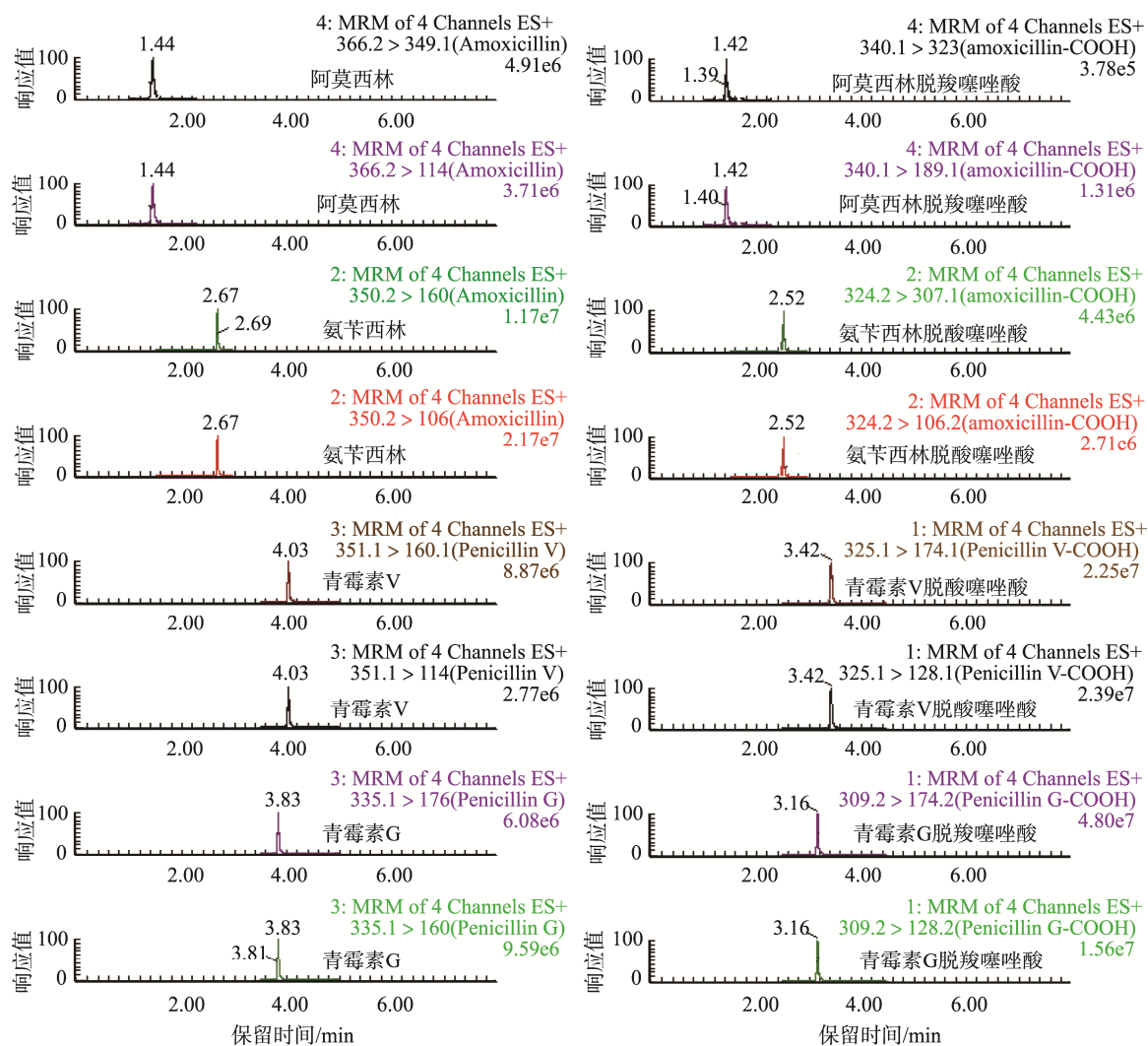


图 3 各目标化合物标准溶液 MRM 色谱图

Fig.3 MRM chromatogram of standard solution of each target compound

2.3 方法学验证

采用在阴性空白样品提取液中分别添加不同浓度的目标化合物,得到基质匹配工作曲线。采用基质匹配工作曲线可提高目标化合物测定的准确度和可靠性,同时减少基质效应的影响。4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物的检测灵敏度存在差异,因此对线性浓度点的选择不同。在所考察的线性范围内,4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物线性良好,相关系数不低于0.999。以基线噪音的3倍($S/N=3$)和10倍($S/N=10$)分别对应的4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物的浓度作为检出限(limit of detection, LOD)和定量限(limit of quantitation, LOQ),计算目标化合物的检出限和定量限。具体结果见表2,方法灵敏度较高。分别在阴性空白样品中添加低、中、高3个浓度水平的目标化合物,每个加标水平平行测定6次,计算目标化合物的回收率和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)^[19]。表3的分析结果表明,方法回收率为70.9%~101.6%,RSD为4.0%~7.5%,方法回收率和精密度较高。

2.4 样品中青霉素及其代谢产物含量的测定

采用已建立的方法测定了石家庄地区市售的35份牛奶样品中4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物。35份牛奶样品中,4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物检测值均小于方法的检出限。

3 结论

本研究建立了超高效液相色谱-串联质谱法测定牛奶样品中4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物的残留分析方法。采用0.2%氨水乙腈提取待测物,Oasis PRiME HLB固相萃取柱净化提取液,液相色谱-串联质谱法检测,8种待测物均得到了较好的分离。利用基质匹配标准溶液校准法对其进行定量,实现了对牛奶中4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物残留的定量分析。该方法操作简单、重现性好,适用于牛奶样品中4种 β -内酰胺类抗生素及其代谢产物的残留检测。本方法为保障食品安全和人民身体健康及政府加强对违规使用抗生素问题的监管提供了技术支撑。

表2 目标化合物的线性方程、线性范围、相关系数、检出限与定量限
Table 2 Linear equations, linear ranges, correlation coefficients, LODs and LOQs of the target compounds

化合物	线性方程	线性范围/($\mu\text{g/L}$)	r^2	LOD/($\mu\text{g/kg}$)	LOQ/($\mu\text{g/kg}$)
青霉素 G	$Y=3235.6X+826.4$	1.0~100	0.9991	0.5	1.5
青霉素 V	$Y=4061.1X-2235.2$	1.0~100	0.9991	0.5	1.5
氨苄西林	$Y=5710.0X-385.0$	1.0~100	0.9999	0.5	1.5
阿莫西林	$Y=1088.7X+136.4$	2.0~200	0.9998	1.0	3.0
青霉素 G 脱羧噻唑酸	$Y=7165.5X-6395.7$	2.0~100	0.9996	1.0	3.0
青霉素 V 脱羧噻唑酸	$Y=4528.1X+1470.34$	2.0~100	0.9997	1.0	3.0
氨苄西林脱羧噻唑酸	$Y=409.7X-786.8$	10.0~500	0.9998	5.0	15.0
阿莫西林脱羧噻唑酸	$Y=221.2X-335.0$	20.0~500	0.9999	10.0	30.0

表3 牛奶中抗生素的添加水平、回收率及 RSD($n=6$)
Table 3 Spiked levels, recoveries and RSDs of antibiotic in milk samples($n=6$)

目标化合物	添加水平/($\mu\text{g/kg}$)			低水平		中水平		高水平	
	低	中	高	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
青霉素 G	1.5	3.0	15	84.1	6.0	85.5	5.0	90.1	6.1
青霉素 V	1.5	3.0	15	91.5	5.5	92.6	6.3	95.2	4.5
氨苄西林	1.5	3.0	15	88.2	6.2	85.5	5.5	86.1	4.0
阿莫西林	3.0	6.0	30	70.9	6.5	72.3	7.2	75.5	7.1
青霉素 G 脱羧噻唑酸	3.0	6.0	30	92.5	5.0	95.6	5.6	101.6	5.8
青霉素 V 脱羧噻唑酸	3.0	6.0	30	93.2	4.7	93.6	5.1	95.3	4.9
氨苄西林脱羧噻唑酸	15.0	30.0	150	95.7	6.5	96.1	6.5	96.2	4.5
阿莫西林脱羧噻唑酸	30.0	60.0	300	79.8	5.9	82.1	7.2	83.2	7.5

参考文献

- [1] ALDEEK F, ROSANA MR, HAMILTON ZK, *et al.* LC-MS/MS method for the determination and quantitation of penicillin G and its metabolites in citrus fruits affected by Huanglongbing [J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63(26): 5993–6000.
- [2] ALDEEK F, CANZANI D, STANDLAND M, *et al.* Identification of penicillin G metabolites under various environmental conditions using UHPLC-MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(31): 6100–6107.
- [3] LACINA O, URBANOVA J, POUSTKA J, *et al.* Identification/quantification of multiple pesticide residues in food plants by ultra-high-performance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2010, 1217(5): 648–659.
- [4] GB/T 22975—2008 牛奶和奶粉中阿莫西林、氨苄西林、哌拉西林、青霉素 G、青霉素 V、苯唑西林、氯唑西林、萘夫西林和双氯西林残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
GB/T 22975—2008 Determination of amoxicillin, ampicillin, piperacillin, penicillin G, penicillin V, oxacillin, cloxacillin, nafcillin and dicloxacillin residues in milk and milk powder-LC-MS/MS [S].
- [5] GB/T 20755—2006 畜禽肉中九种青霉素类药物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
GB/T 20755—2006 Determination of nine penicillin drug residues in livestock and poultry meat-LC-MS/MS [S].
- [6] GB/T 21315—2007 动物源性食品中青霉素族抗生素残留量检测方法 液相色谱-质谱质谱法[S].
GB/T 21315—2007 Detection method of penicillin antibiotic residues in food of animal origin-LC-MS/MS [S].
- [7] 马丽萍, 纠敏, 秦翠丽, 等. 微生物抑制法检测牛乳中青霉素类药物残留的研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1): 193–196.
MA LP, JIU M, QIN CL, *et al.* Microbial inhibition detection of penicillin-type drugs residues in milk [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(1): 193–196.
- [8] SAMSONOVA Z, SHCHELOKOVA O, IVANOVA N, *et al.* Enzyme-linked immunosorbent assay of ampicillin in milk [J]. *Appl Biochem Microbiol*, 2005, 41(6): 589–595.
- [9] 鞠守勇. 新型青霉素结合蛋白基因(Bt-pbp2)的克隆、表达及其在青霉素残留检测中的应用[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(8): 126–129, 140.
JU SY. The cloning and expression of novel penicillin binding protein (Bt-pbp2) and application in detection of penicillin residues [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(8): 126–129, 140.
- [10] SAMANIDOU V, MICHAELIDOU K, KABIR A, *et al.* Fabric phase sorptive extraction of selected penicillin antibiotic residues from intact milk followed by high performance liquid chromatography with diode array detection [J]. *Food Chem*, 2017, (224): 131–138.
- [11] 张燕, 舒平, 阚海勋, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定乳制品中10种青霉素类抗生素残留[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(4): 1483–1491.
ZHANG Y, SHU P, KAN HX, *et al.* Determination of 10 residual penicillin in dairy products by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(4): 1483–1491.
- [12] 张航俊, 周志强, 陈晓林, 等. 高效液相色谱串联质谱法检测饲料中7种青霉素类药物[J]. *饲料研究*, 2019, (10): 57–61.
ZHANG HJ, ZHOU ZQ, CHEN XL, *et al.* Detection of 7 penicillins in feed by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Feed Res*, 2019, (10): 57–61.
- [13] 刘楚君, 郭亚文, 卜晓娜, 等. 动物性食品中青霉素类药物残留色谱与质谱检测技术研究进展[J]. *中国兽医学报*, 2019, (4): 800–807.
LIU CJ, GUO YW, BU XN, *et al.* Research progress of chromatography and mass spectrometry detection techniques for penicillin drug residues in animal food [J]. *Chin J Veter Sci*, 2019, (4): 800–807.
- [14] 肖惠贞, 刘红河, 尹江伟, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定乳制品中青霉素类药物及其主要代谢产物[J]. *卫生研究*, 2015, 44(4): 641–646.
XIAO HZ, LIU HH, YIN JW, *et al.* Determination of 7 penicilins and penicilloic acids in milk products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Hyg Res*, 2015, 44(4): 641–646.
- [15] 赵凤娟, 岳振峰, 张毅, 等. 高效液相色谱-四级杆/静电场轨道阱高分辨质谱研究人工“无抗奶”中青霉素类药物的降解产物[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(2): 339–351.
ZHAO FJ, YUE ZF, ZHANG Y, *et al.* Degradation products study of penicillins in artificial “non-anti-milk” by high performance liquid chromatography-linear trap quadrupole-orbitrap mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(2): 339–351.
- [16] 周杰, 赵静, 董超, 等. 分散固相萃取结合 UPLC-MS/MS 测定柑桔中青霉素 G 及其代谢物残留[J]. *分析测试学报*, 2019, 38 (4): 442–448.
ZHOU J, ZHAO J, DONG C, *et al.* Determination of penicillin G and its metabolite residues in citrus by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with dispersive solid-phase extraction [J]. *J Instrum Anal*, 2019, 38(4): 442–448.
- [17] 陈聪, 严慧, 沈保华, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定全血中青霉素 G 及其主要代谢产物[J]. *色谱*, 2012, 30(5): 445–451.
CHEN C, YAN H, SHEN BH, *et al.* Simultaneous determination of penicillin G and its major metabolites in blood using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2012, 30(5): 445–451.

- [18] 李玮, 艾连峰, 郭春海, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定牛奶和奶粉中的青霉素类药物及其主要酶解代谢产物[J]. 色谱, 2013, 31(10): 946-953.

LI W, AI LF, GUO CH, *et al.* Simultaneous determination of penicillin and their major enzymatic metabolites in milk and milk powder by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2013, 31(10): 946-953.

- [19] 王丽英, 任贝贝, 路杨, 等. 液相色谱-串联质谱法检测玉米油中的黄曲霉毒素和玉米赤霉烯酮[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3924-3928.

WANG LY, REN BB, LU Y, *et al.* The research method for detecting aflatoxins and zearalenone in corn oil by using ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual,

2019, 10(12): 3924-3928.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



路 杨, 副主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: lyxyx00357@163.com



常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: hbweisheng2@163.com

“食品保鲜与贮藏”专题征稿函

随着生活水平的逐渐提高, 人们对食品的质量有了更高的要求。因此, 保鲜技术被广泛应用于食品的加工流通过程中。如何保持食品的新鲜度以及食品在储藏过程中的安全性成为目前研究的重点。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品保鲜与贮藏”专题, 由浙江大学 罗自生 教授 担任专题主编, 主要围绕 (1)果蔬、粮食、水产品、禽肉制品等食品保鲜方法、技术; (2)食品在储藏中的生理、生化变化; (3)食品腐败以及控制方法等或您认为有意义的领域展开讨论, 计划在 2021 年 6 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊主编国家风险评估 吴永宁 研究员 及浙江大学 罗自生教授 特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2021 年 4 月 19 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与和支持!

投稿方式(注明专题): 食品保鲜与贮藏

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsqa@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部